

砂質地山におけるトンネルの支保効果のメカニズムに関する考察

山口大学大学院 学○澤江宏徳 学 安部達也
山口大学工学部 正 清水則一

1. はじめに

砂質地山に掘削される土被りの浅いトンネルに対しては、地山の安定性を確保するために適切な支保や補強を行う必要がある。これまで、さまざまな工法が適用されているが、実施された支保・補強工法がどのようなメカニズムで効果を発揮しているかなど、未解明な問題が多い。

本研究^{1),2)}は、支保の基本的な要素のロックボルトを対象に、その作用効果のメカニズムを数値解析によって考察することを目的とする。なお、砂質地山を粒状体モデルによって表す。

2. 粒状体モデル³⁾

砂質地山を表すために、個別要素法に基づく粒状体モデルを用いる。個別要素法で取り扱う粒子1つ1つは剛体であるため、いわゆる応力やひずみといった連続体の概念は存在しない。そのため、粒状体解析では、粒子間接触力と位置から平均応力を式(1)のように定義している。

ここで、 $\bar{\sigma}_{ij}^{(p)}$ は粒子1つの平均応力テンソル(圧縮正)、 N_c は接触数、 $F_j^{(c)}$ は粒子 p の表面の接触点 c における接触力(圧縮正)、および $x_i^{(c)}$ は接触点 c の位置ベクトルである。

$$\bar{\sigma}_{ij}^{(p)} = \frac{1}{V^{(p)}} \sum_{N_c} x_i^{(c)} F_j^{(c)} \quad (1)$$

3. 砂質地山トンネル掘削シミュレーション

ここでは、砂質地山トンネル掘削シミュレーションを行い、挙動および支保効果のメカニズムについて考察する。なお、解析はPFC2D⁴⁾を用いる。

3.1 解析条件

解析ケースは土被りが2Dの砂質地山で、掘削パターンは素掘り、覆工のみ、覆工とボルトを同時に考慮した3パターン行う。解析領域の概略および材料パラメータをそれぞれ図1および表1に示す。表1の数値は、弾性係数50MPa程度の地山材料に相当している⁵⁾。なお、トンネルは半径5mとする。

3.2 解析結果

掘削後の粒子分布および接触力分布を図2に示す。ここで接触力とは、粒子間の圧縮力であり、図2において、接触力の大きさを線の太さで表している。素掘りでは自立できず崩壊しているが、覆工を施すことで崩壊を防いでいる。しかし、局所的に覆工に大きな変位が生じ、かろうじて安定を保っている。覆工に加えてボルトを打設することで、覆工の局所的な変形も生じておらず、より安定していることがわかる。接触力分布を見てみると、覆工とボルトを加えた場合は、掘削により応力が解放されても、トンネル壁面およびトンネル周辺地山の接触力は減少せずに安定している。一方、覆工のみではトンネル周辺に接触力が低下した領域（ゆるみ領域に対応する）が生じ、その外周にいわゆるアーチ効果が見られる。

次に、トンネル周辺の接線方向応力 σ_θ と半径方向応力 σ_r の分布を調べる。平均応力計算領域は図3に示すように、 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 方向の5方向に対して、●を中心とする点線で示す円内の平均応力を式(1)より算出する。結果の一例として、図4に 90° 方向(図3の実線ライン上)の結果について示す。素掘りでは、トンネル周辺の初期応力が完全に低下し、応力低下が地表面に向けて進行している。覆工のみの場合、トンネルは一応安定しているが、 σ_θ のピークが天端上約6mの位置にあり、この位置までゆるみが広がっていると考えられる(図2(b)参照)。覆工+ボルトの場合、弾性解とほぼ同じ応力分布であり、粒状体である

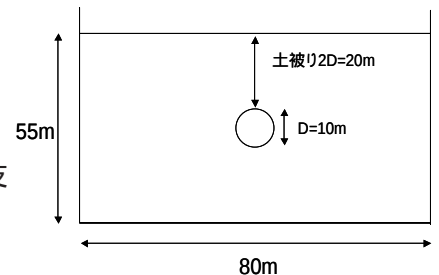


図1 解析領域の概略

表1 材料パラメータ

領域サイズ (m ²)		55 × 80	
粒径 (m)		0.1 ~ 0.2	
粒子数		約53000	
ばね定数 (N/m)	粒子間	Kn	1 × 10 ⁸
		Ks	5 × 10 ⁷
	壁-粒子間	Kn	1 × 10 ⁸
		Ks	5 × 10 ⁷
粒子間摩擦係数		0.5	
粒子密度 (kN/m ³)		200	
Contact Bond (MN)	砂質 n_bond , s_bond	0	

キーワード：砂質地山、個別要素法、支保効果、応力分布

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学理工学研究科社会建設工学専攻

TEL 0836(85)9334 e-mail : sawae@rock.civil.yamaguchi-u.ac.jp

にもかかわらず,連続体的挙動を示している.図2に示す点線領域の応力経路の結果を図5に示す.素掘りでは崩壊が進み,応力が0に向かうのに対して,ボルトを加えることで,応力低下が抑制されるだけでなく,最小主応力の増加が見られ,トンネルは安定する.

次に,トンネル周辺の σ_θ の分布を図6に示す.これはトンネル壁面より1mの位置(図3参照)の接線方向応力 σ_θ を5方向に対してプロットしたものである.これより,覆工のみの場合では応力分布に偏りがあるのに対して,覆工+ボルトの場合,応力の周方向の分布が一様化され,弾性解に近くなっていることがわかる.

以上のことから,ボルトの打設によって,トンネル壁面付近の変形が拘束され,トンネル周辺の応力分布が均質化することでトンネルが安定すると考えられる.

4. 結論

本研究の結論を以下に示す.

(1) 土被りの浅い未固結地山トンネルの掘削シミュレーションでは,ゆるみ領域やアーチ効果などの連続体解析では表現しにくい挙動をうまく捉えることができた.

(2) ボルトを打設することで,トンネル周辺の応力分布が均質化されていることが示された.

(3) さらに詳しく調べると,ボルトがない場合に破壊を示す位置およびその周辺で,ボルトの打設によって応力が低下せず,最小主応力の増加も見られる.

(4) 連続体解析で見られるようなトンネル周辺の周方向応力の増加が見られ,地山は安定となる.

参考文献

- 1) 澤江宏徳, 安部達也, 清水則一, T.G.Sitharam: 個別要素法による粒状体の載荷試験の数値シミュレーション, 第53回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.377-378, 2001.6.
- 2) 安部達也, 澤江宏徳, 清水則一, T.G.Sitharam: 粒状体モデルによるトンネル掘削シミュレーションに関する基礎的研究, 第56回年次学術講演会講演概要集, No. B339, pp.678-679, 2001.10.
- 3) Cundall, P.A., and Strack, O.D.L: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, 29(1), pp.47-65, 1979.
- 4) Itasca: PFC2D ver2.0 User's Guide, Itasca, 1999.
- 5) 安部達也, 個別要素法による未固結地山トンネルの挙動解析と支保効果のメカニズムに関する考察, 山口大学理工学研究科修士論文, 2002.3.

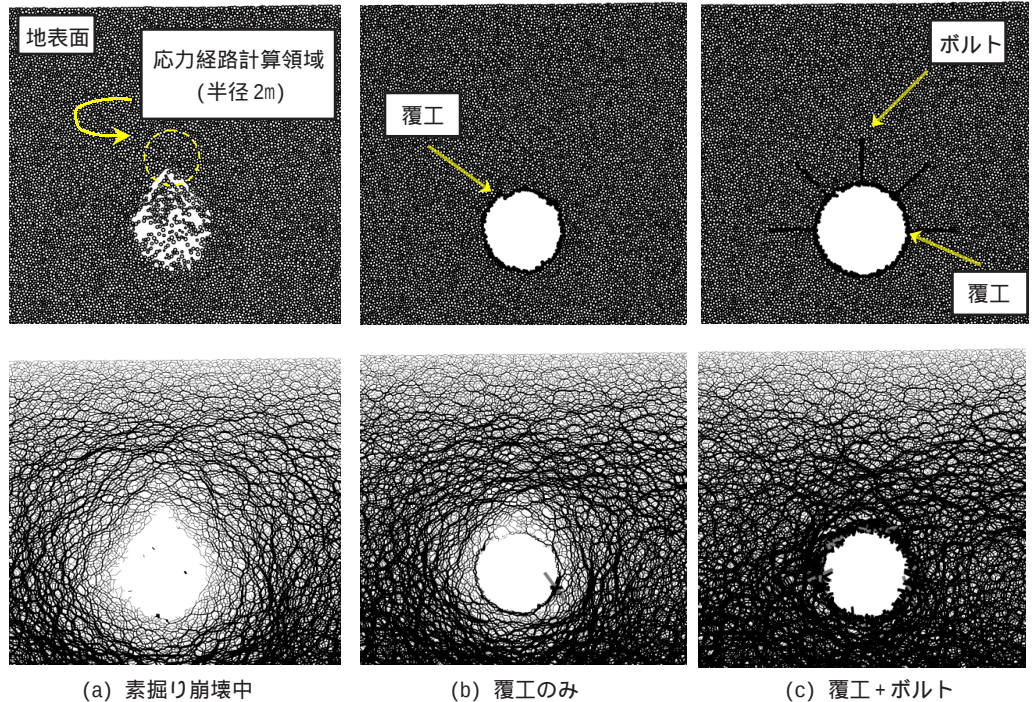


図2 掘削後の粒子分布(上图)および接触力分布(下图)

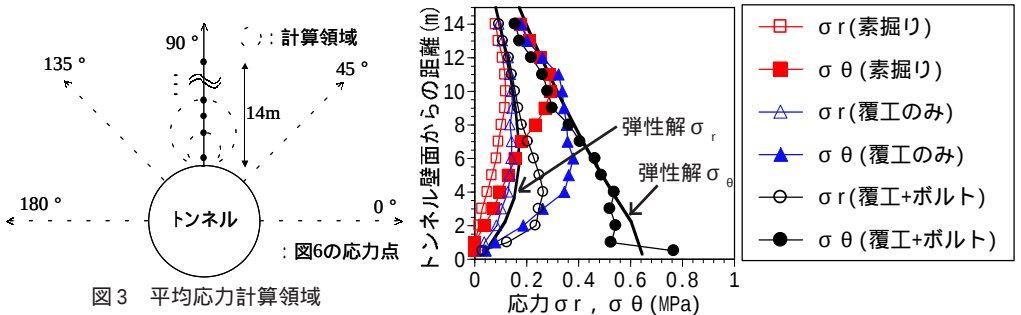


図3 平均応力計算領域

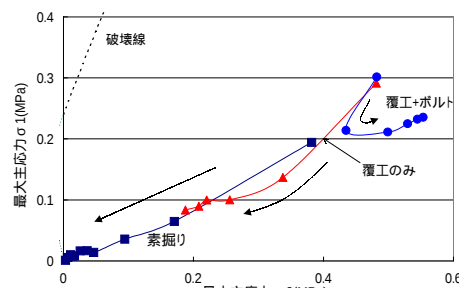


図5 応力経路(図6の点線領域)

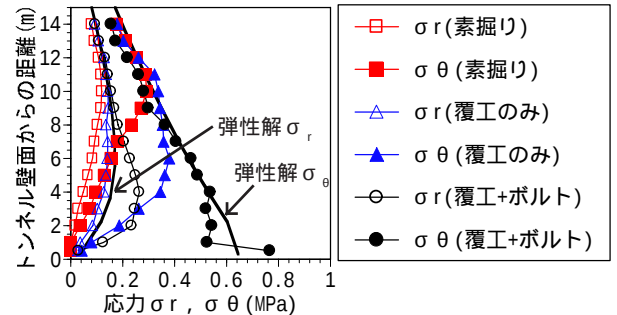


図4 90°方向応力分布結果

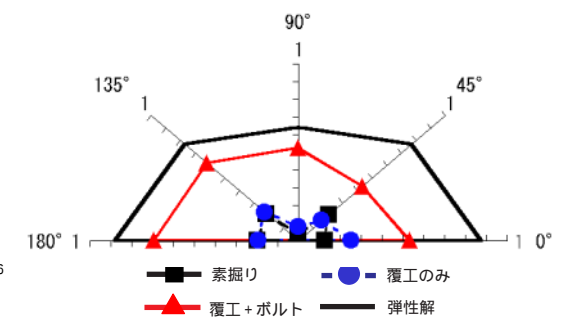


図6 トンネル周方向の応力 σ_θ 分布 [単位: MPa]